

고온용 전압형 가속도센서의 온도특성

김영덕, 김광일, 정우철, 고재석
포항산업과학연구원 전력전자연구팀

High Temperature Sensitivity Characteristics of the Voltage Type High Temperature Piezoelectric Accelerometer

Y.D.Kim, K.I.Kim, W.C.Jung, and J.S.Koh
Research Institute of Industrial Science & Technology

Abstract - Vibration measurements to monitor the condition of machinery and machine elements offers several advantages over traditional methods of nondestructive evaluation. RIST(Research Institute of Industrial Science & Technology) has established a calibration system for accelerometers that measures within a frequency range from 2Hz to 6,300Hz and a temperature range from -40°C to 180°C. The calibration procedures are based on the principle of the comparison method. To monitor vibration signals of machinery and machine elements, annular shear type piezoelectric accelerometers employing solid state microelectronics were fabricated. The voltage sensitivity and resonant frequency of fabricated accelerometers was 83mV/g, 23kHz, respectively. This paper discusses the method of fabrication of annular shear type piezoelectric accelerometers and the results of field tests in POSCO(Pohang Iron & Steel Co. LTD.).

는 압전전하상수 그리고 m_s 는 관성질량이다

환형(annular) 전단형 가속도센서의 가해진 외력에 대한 출력전압의 비 V/F 는

$$\frac{V}{F} = n\gamma g \quad (2)$$

이며, 여기서 g 는 압전전압상수, γ 는 기하적인자이다. 출력감도를 높이기 위해서는 (2)식의 γ 값이 크도록 압전세라믹 소자의 크기를 조절하여야 한다.

한편 가속도센서의 동작 주파수 영역을 결정하는 부차 공진주파수(mounted resonant frequency) ω_m 은

$$\omega_m = \left(\frac{k}{m_s}\right)^{1/2} \quad (3)$$

로 주어지며, k 는 결합된 구조의 stiffness를 나타낸다.

(1)식과 (3)식을 살펴보면 감도의 증가는 동작주파수 영역의 감소를 가져오므로 이들 두 변수들의 적절한 조정이 필요함을 알 수 있다.

1. 서 론

압전형 가속도센서는 회전기계류나 자동차와 같은 기계류의 진동을 검출하여 이상을 예지하는 데 많이 사용되고 있다. 일반적으로 가속도센서는 형태에 따라 압축형과 전단형으로 나눌 수 있으며, 현장에는 제작이 비교적 간단한 압축형이 많이 사용되고 있다. 그러나 압축형의 경우 주변온도의 변화로 인한 pyroelectric효과 때문에 낮은 주파수에서 진동과 관계없는 출력신호를 발생시킨다.¹⁾ 전단형은 분극축과 수직한 면에서 진동으로 인한 출력신호가 발생함으로 주변 온도변화에 기인한 pyroelectric 효과를 줄일 수 있다.

전하형 센서의 경우 케이블의 정전용량에 영향을 받으므로 케이블의 종류와 길이에 따라 출력이 달라지기도 하여, 임피던스 변환기를 사용하여 가속도센서의 진동출력을 전압으로 변환하여 주면 케이블의 길이와 종류에 무관하므로 비교적 노이즈가 심한 환경에서도 사용이 가능하게 된다.²⁾

본 논문에서는 전압출력을 내는 전단형 가속도센서를 제작하여 비교교정 방법으로 주파수 특성과 감도의 온도의 의존성과 현장에서 특성시험 결과를 조사하였다.

2. 본 론

2.1 원리

외부의 가속도에 대하여 센서의 감도는 압전세라믹소자에 작용하는 관성질량(seismic mass)의 무게와 압전세라믹소자의 압전전하 상수값에 의존한다. 압전가속도센서에서 발생한 전하 Q 는 다음과 같이 주어진다.

$$Q = ndm_s a \quad (1)$$

여기서, a 는 가해진 가속도, n 는 압전세라믹의 개수, d

2.2 실험

2.2.1 임피던스 변환기

그림 1에는 가속도 센서용 임피던스 변환기의 회로도를 나타내었고, 센서에 내장하기 위해서는 가능한 작아야 하므로 SMD(Surface Mount Device) 형의 전자부품을 이용하여 Hybrid로 제작하였다. 임피던스 변환기의 lower limiting frequency³⁾는

$$f_l = \frac{1}{2\pi R_p C} \quad (4)$$

이며, 여기서 C 는 압전세라믹소자의 정전용량을 나타내고 R_p 는 임피던스 변환기의 입력저항값이다. 낮은 주파수 영역에서도 안정된 출력을 가지기 위해서는 $C \times R_p$ 값이 커야함을 알 수 있다.

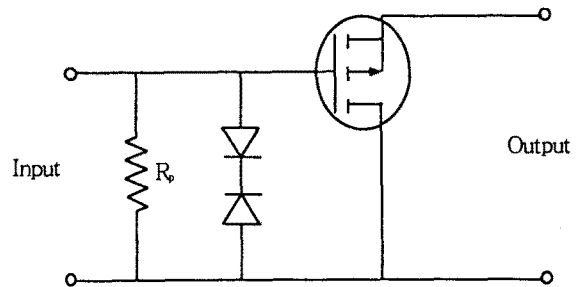


그림 1. 임피던스 변환기의 기본회로도.

2.2.2 가속도센서의 구조

그림 2에는 조립된 가속도센서의 단면을 나타내었고, 중간지지대(Center post)와 베이스는 두께 0.5mm의 절연체를 사용하여 전기적으로 절연시켰다. 내경 4mm.

외경 12mm, 두께 4.5mm의 압전세라믹소자가 중간지 지대와 관성질량 사이에 샌드위치 형태로 결합되어 있으며, 임피던스 변환기는 관성질량위에 위치하여 압전세라믹소자의 전극과 연결되어 있다. 관성질량은 텅스텐을, 베이스와 외부커버는 SUS 재질을 사용하였다.

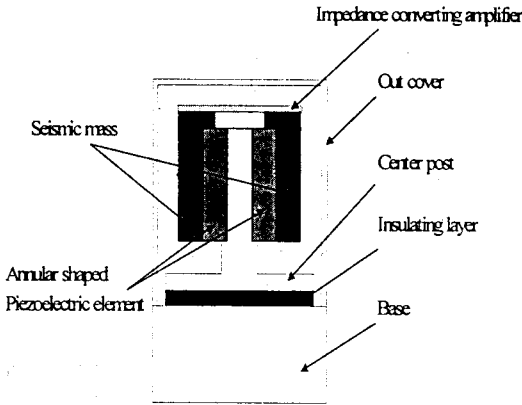


그림 2. Annular shear type 가속도센서의 구조

2.2.3 측정방법

제작된 가속도센서의 정확한 출력특성을 조사하기 위하여 그림 3에 주어진 비교교정 시스템⁴⁾을 이용하였으며, B&K 8305를 표준센서로 Electromagnetic Exciter는 B&K(4290, 4805)와 LDS(V550) 제품을 사용하였다.

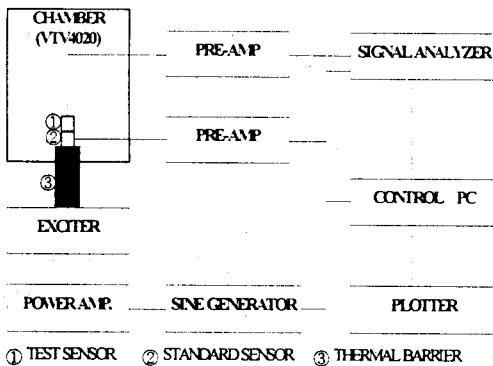


그림 3. 가속도센서 비교교정 및 온도특성 측정시스템

표준센서의 출력이 Sine generator로 feed-back되어 일정한 가속도값으로 가진기가 진동할 수 있도록 하고, Thermal barrier는 항온챔버로부터 가진기를 열적으로 차단하는 기능을 하며, 재질은 알루미늄 합금을 사용하였다. 시험센서의 출력은 Pre-Amp.를 거쳐 FFT Analyzer를 통해 PC로 입력되어 저장된다.

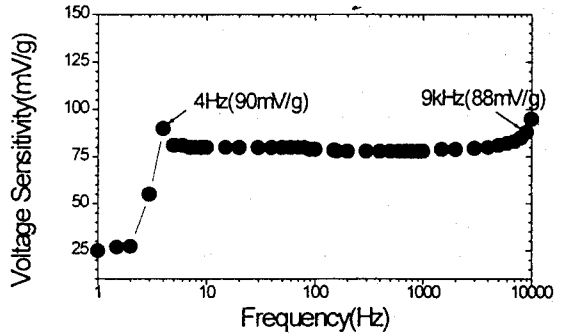
2.2.4 결과

제작된 임피던스 변환기의 이득(gain)은 약 0.9 정도였으며, -40℃와 121℃의 온도에서 기준온도 (40℃)에 대해 출력값이 각각 3%와 -1.5% 정도의 온도에 따른 변화를 나타내었고, 조립된 가속도센서의 전하와 전압감도는 각각 28pC/g와 83mV/g로 나타났다. 이때 측정

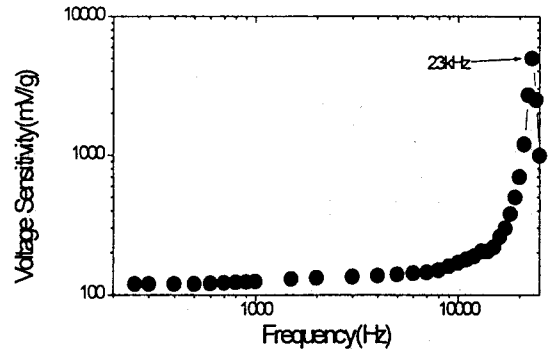
주파수는 159Hz였다.

그림 5는 제작된 가속도센서의 실온에서 측정된 주파수 특성곡선을 나타내며, 그림 5 a)를 살펴보면 4Hz와 9000Hz의 주파수 영역에서 감도가 ±10% 범위내에 드는 것을 알 수 있다. 그림 5 b)는 부착공진 주파수 특성곡선으로 약 23kHz의 공진 주파수를 나타낸다.

그림 6은 압축형과 환형 전단형 가속도센서의 온도특성을 나타낸 것으로써 측정 온도 구간은 -40℃에서 121℃였으며, 전자의 경우 특성곡선의 기울기는 0.3 이었고, 후자는 0.11로 나타나 전단형의 경우가 온도특성이 훨씬 뛰어난 것을 알 수 있다. 온도가 증가함에 따라 출력이 감소하는 것은 압전세라믹소자의 정전용량 증가폭이 전하감도의 증가폭보다 큼으로 기인된 현상이다.



a) 동작주파수 영역



b) 부착공진 주파수특성곡선

그림 5. 가속도센서의 주파수 특성곡선.

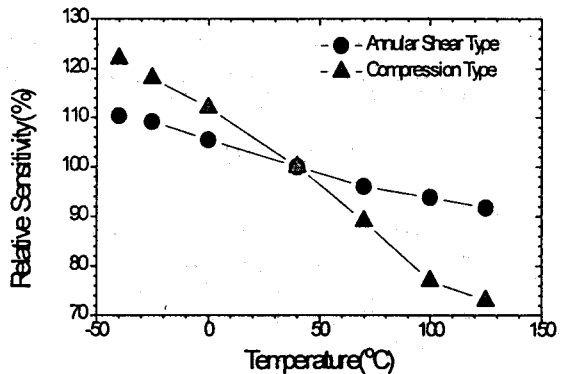


그림 6. 압축형과 전단형의 온도특성곡선.

그림 7은 현장에 설치된 센서의 사진을 나타내었고, 그림 8에는 110일 동안 CMS(Condition Monitoring System : POSCON)을 이용하여 측정된 가속도 값을 나타낸 것으로 실선은 peak-to-peak 값을, 점선은 rms(root mean square) 값을 나타낸 것이다. 급격한 증가를 나타낸 부분은 정기 정비를 위하여 기계가 shot down 되었을 때 나타난 현상이고, peak-to-peak 값이 상대적으로 크게 나타난 것은 averaging 주기에서 가장 큰 값을 표시하도록 하였기 때문이며, rms 값은 장기간에 걸쳐 상당히 안정된 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.



그림 7. 현장시험을 위해 설치된 센서의 사진.

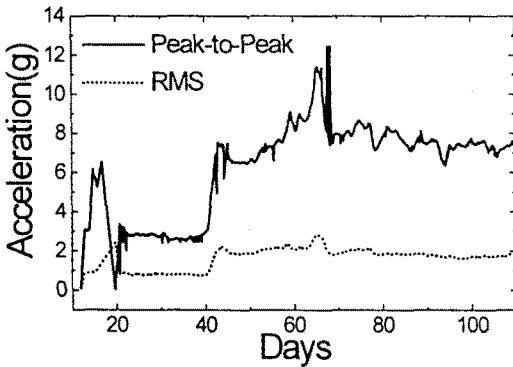


그림 8. 현장시험에서 측정된 가속도값.

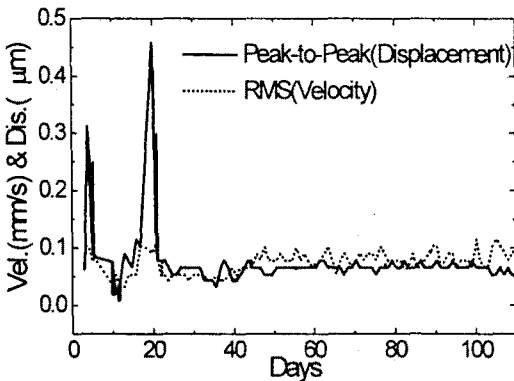


그림 9. CMS에서 적분된 속도 및 가속도 값.

그림 9에는 CMS에서 가속도값을 받아 적분기를 통해 속도와 변위로 나타낸 것을 나타낸 것으로, 실선은 peak-to-peak값을, 점선은 rms(root mean square) 값을 나타내며, 가속도 값과 마찬가지로 상당히 안정된 특성을 보여주고 있다.

3. 결 론

임피던스 변환기를 내장한 환형 전단형 가속도센서를 제작하여 감도와 주파수 및 온도에 따른 감도특성을 측정 한 결과 압축형 보다는 상당히 우수한 주파수 및 온도 특성을 가졌다.

제작된 가속도센서의 중요한 특성은 다음과 같다.

- 1) 임피던스 변환기의 증폭도(gain)은 0.9 정도였고, 기준온도(40℃)에 대한 출력값의 변화율은 -40℃일 때 103%, 121℃일 때 98.5%였다.
- 2) 환형 전단형 가속도센서의 전하 및 전압감도는 각각 28pC/g와 83mV/g로 나타났다.
- 3) 부착공진주파수는 대략 23kHz 였고 동작 주파수 영역은 4Hz에서 9000Hz(±10%) 였으며, 기준온도(40℃)에 대한 출력감도값의 비는 -40℃일 때 110%를 121℃일때는 91%로 나타났다.

[참 고 문 헌]

- (1)Yasunori OHTSUKI, Yoshiaki FUDA and Tetsuo YOSHIDA, "High-Sensitivity Accelerometer Using Multilayer Piezoelectric Ceramics", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp.4209-4211, 1993.
- (2)Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifier Handbook, Brüel & Kjaer, October, 1986.
- (3)Yasunori OHTSUKI and Tetsuo YOSHIDA, "Piezoelectric-Ceramic Biaxial Accelerometer", Jpn., J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 2396-2398, 1993.
- (4)Mechanical Vibration and Shock Measurements, Brüel & Kjaer, April, 1984.